

Alerte aux ruissellements urbains et crues soudaines

Alert to urban runoff and flash floods

Ilda Maria Carvalho Aguiar¹, Abelino Gomes¹, Ricardo Miranda Aroeira¹, Gilles Rocquelain², Antonin Mazoyer², Laurent Tocqueville²

¹Sudecap - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte ilda@pbh.gov.br

²BRL ingénierie Laurent.Tocqueville@brl.fr

Un clin d'œil pour Luiz Kauark-Leite, ingénieur hydraulicien Franco-Brésilien, aujourd'hui disparu, qui a œuvré tant à Belo Horizonte qu'à Paris.

RÉSUMÉ

Belo Horizonte, capitale de l'État Brésilien de Minas Gerais, troisième ville la plus importante du Brésil avec une population de 2.500.000 habitants, se trouve confrontée à une urbanisation qui a légèrement dépassé les hypothèses des 100 000 habitants qui ont prévalu à sa création, voici un siècle.

Le contexte hydro-climatologique et le relief sur lesquels elle s'est développée, favorisent l'apparition de crues soudaines qui engendrent des dommages importants. La ville a donc décidé de se doter des outils de connaissance des phénomènes, d'anticipation et d'alerte.

L'installation d'un réseau de mesures hydro climatologiques, associée à une implication de la société civile dans la gestion de la crise, préfigurent le déploiement progressif des outils indispensables à la maîtrise du risque dans une ville, très innovante de ce point de vue au Brésil.

ABSTRACT

Belo Horizonte is the capital of the State of Minas Gerais in Brazil. Third largest city in Brazil with a population of 2.5 million inhabitants, Belo Horizonte is facing rapid urbanization which slightly exceeded the assumptions of 100 000 inhabitants, which have prevailed in its creation, one century ago.

The hydro-climatological context and topography, on which Belo Horizonte has been developed, encourage the development of flash floods that cause significant damage. The city has decided to acquire the tools of knowledge of phenomena, anticipation and alert.

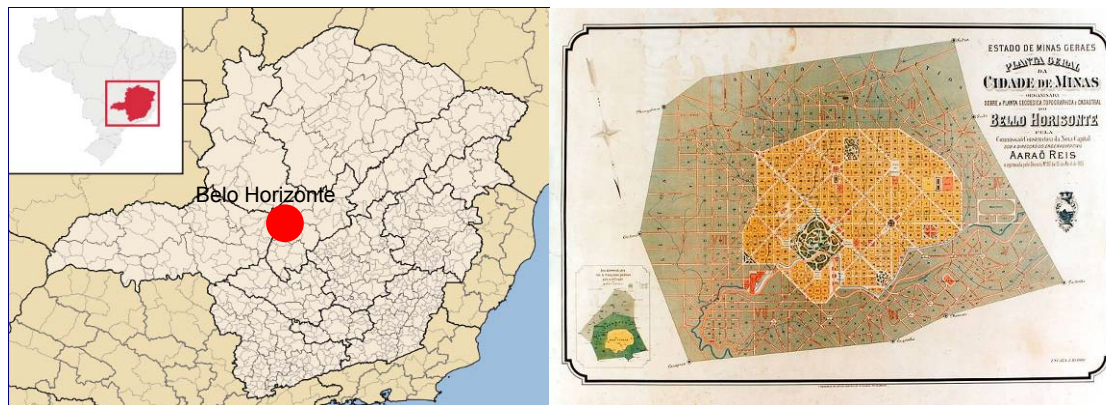
The installation of a network of hydro climatic measures, associated to the involvement of civil society in the management of the crisis, prefigure the gradual deployment of essential tools for risk management in a city that innovates in this domain in Brazil.

MOTS CLES

Base de données hydrométriques, Crues éclair, Réseau d'alerte de crues.

1 BELO HORIZONTE : UNE VILLE DE MODERNITE

Belo Horizonte est la troisième ville la plus importante du Brésil avec une population de 2,5 millions d'habitants et une perspective de 3 millions d'habitants à l'horizon 2030. Capitale de l'état de Minas Gerais, un territoire aussi vaste que la France, Belo est née au 18^{ème} siècle de l'imagination de l'architecte Aarão Reis, pour remplacer Ouro Preto, une cité coloniale née de la découverte du plus grand gisement d'or du nouveau monde.



Localisation de Belo Horizonte - Plan originel de Belo Horizonte

Parler aujourd'hui de Belo Horizonte, c'est se remémorer les choix d'urbanisme à l'origine de sa création. Pour planifier Belo, une ville prévue pour 100 000 habitants, Aarão Reis puise son inspiration dans une construction en échiquier¹ comme pour la ville de Washington au 18^{ème}, utilise les concepts urbanistiques mis en œuvre par Haussmann à Paris au milieu du 19^{ème} siècle, mais voit son modèle direct dans la ville argentine de La Plata.

Grande ville de province jusque dans les années 1940, Belo Horizonte sera à nouveau un espace de créativité lorsque son maire, Juscelino Kubitschek, lui donnera une nouvelle impulsion en entreprenant de grands travaux dont le plus emblématique reste l'aménagement du quartier de Pampulha confié au célèbre architecte Oscar Niemeyer, aménagement qui sera « le point de départ de Brasília » selon son concepteur.



Lorsqu'est évoquée aujourd'hui la modernité du Brésil, apparaissent les images de São Paulo, une ville qui doit sa modernisation à sa vive prospérité économique.

Mais penser Belo Horizonte, première ville moderne Brésilienne, doit être associé à la volonté d'un nouveau gouvernement, un nouvel état Brésilien, désireux de rompre avec un Brésil colonial, volonté qui irradiera la modernité au plan national avec la construction de Brasília.

Plus d'un siècle après sa création, Belo Horizonte a toujours l'énergie d'une ville neuve qui « s'invente ».

2 DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES PARFOIS DIFFICILES

Avec un relief relativement accidenté, les altitudes varient de 685 m à 1358 m, Belo Horizonte reçoit une pluviométrie de l'ordre de 1500 mm par an, dont 90% pour la seule période d'Octobre à Mars. Par la nature même de son climat, qualifié de tropical, Belo Horizonte est soumis à des pluies courtes et de fortes intensités, cause de nombreux décès.

Janvier 2012, Belo Horizonte reçoit en 9 jours, plus de 350 mm de pluies à comparer à la moyenne

¹ un plan en damier, où chaque bloc, chaque quartier est ceinturé par de larges avenues, sur lequel se superpose, à 45°, une autre grille de rues plus étroites.

mensuelle de 292 mm habituellement rencontrée pour l'ensemble du mois (moyenne sur un historique de 30 années) et font quatre morts sur l'état de Minas Gerais.



Belo Horizonte est couvert par deux bassins versants importants, drainés par deux cours d'eau, Arrudas et Onça.

Ces cours d'eau sont aménagés dans leur traversée de Belo, pour permettre une évacuation rapide des eaux pluviales et transférer à l'aval, les risques d'inondations. Ci contre, Arrudas lors de sa traversée du centre ville, est une tranchée de 7 mètres de profondeur, 30 mètres de large, avec une pente de 2,5 à 4,7%, des vitesses pouvant atteindre jusqu'à 14m/s.

Ces cours d'eau ont été dimensionnés avec le débit de pointe, aujourd'hui inadéquat de par la forte imperméabilisation des bassins versants.

Ainsi, à la fin des années 1970, Arrudas a ainsi été aménagé pour une capacité de 300 m³ /s (crue de temps de retour 200 ans), alors que son débit est aujourd'hui estimé à 600 m³ /s du fait de la forte urbanisation.



Arrudas en crue (2011)

Face aux problèmes récurrents liés aux eaux pluviales, la municipalité via sa structure SUDECAP, responsable de la gestion des infrastructures municipales, a élaboré un plan directeur de drainage urbain afin d'en améliorer la gestion des eaux pluviales. Ce plan directeur a permis un diagnostic du système existant, un cadastre du drainage et la construction d'un système d'information géographique. Parallèlement à cela, des études de modélisation hydraulique ont été réalisées de façon à déterminer les points noirs sujet aux inondations.

Dernière étape, la municipalité de Belo Horizonte a mis en place un réseau de suivi hydrométéorologique sur un certain nombre de points stratégiques pour alerter les populations face au risque inondations. Démarche innovante pour une collectivité au Brésil, qui s'inscrit dans la volonté de Belo Horizonte, de réfléchir, innover, anticiper pour améliorer la vie aujourd'hui, et mieux préparer demain, de toujours « s'inventer ».

Ce réseau d'alerte constitue l'étape ultime à son schéma directeur d'assainissement pluvial, initié dès 2001, Rio n'aura débuté le sien qu'en 2010.

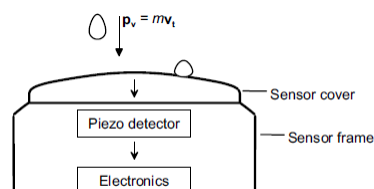
3 GESTION D'ALERTE

Le réseau d'alerte mis en place à la fin de l'année 2011 est composé :

- de 26 stations mixtes (limnimétriques et pluviométriques) équipées de limnimètres capteurs aériens (radars) pour les sections ouvertes et de capteurs immergés (piézorésistif) jumelés à des capteurs aériens pour les sections fermées ;
- de 11 stations pluviométriques (impluvium de 200cm²) et de 4 stations climatologiques, pour un total de 34 capteurs pluviométriques ;



Première innovation, le choix du capteur Vaisala WTX520, capteur météo multi-paramètres (pluie, température, pression, vent vitesse/direction, humidité) qui offre une technologie de mesure de la pluie très particulière, Plus d'entretien, plus de bouchage de l'impluvium, avec une bonne précision. Un capteur, validé par l'Organisation Mondiale de la Météo, qui mesure, par un système piézorésistif, l'impact des gouttes d'eau sur le couvercle du capteur.



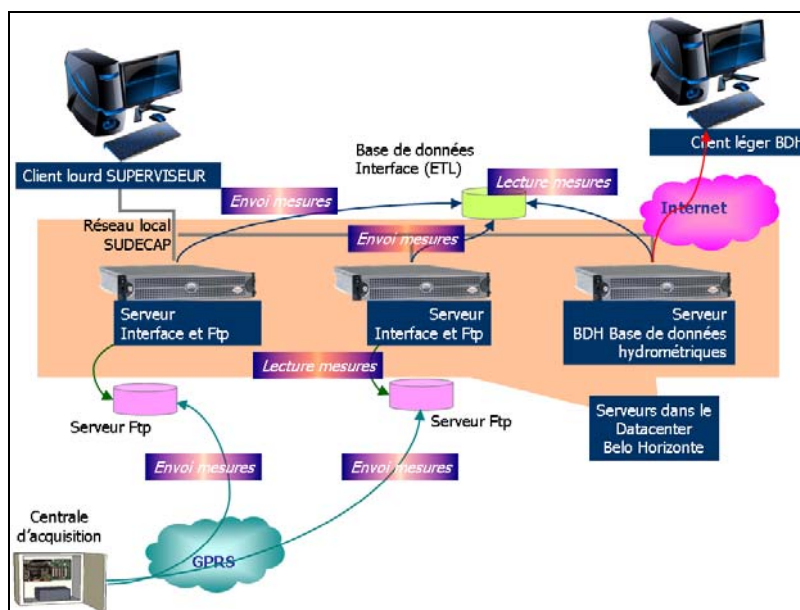
Le capteur climatologique Vaisala WTX 520

Seconde innovation, pour limiter le risque de vandalisme, tous les équipements de mesure (capteur, centrale d'acquisition, moyen de transmission, panneau solaire) sont installés sur des poteaux à grande hauteur (4,5mètres).

Durant les interventions pour maintenance, les équipements peuvent être facilement descendus à hauteur par le biais d'un treuil intégré dans la structure. 14 mois après l'installation, aucun vol, ni détérioration n'a été constaté.



Troisième innovation lors de la conception du dispositif en 2009, l'utilisation du GPRS et du tout « IP » (internet protocol) pour faire dialoguer les stations avec le poste central. Les stations d'acquisition « poussent » périodiquement leurs mesures sous la forme de fichiers texte, à destination de deux serveurs FTP, chacun d'eux étant rattaché à son propre frontal de communication et un logiciel supervision. Cette structure redondante offre un confort et une sécurité optimale pour un dispositif d'alerte.

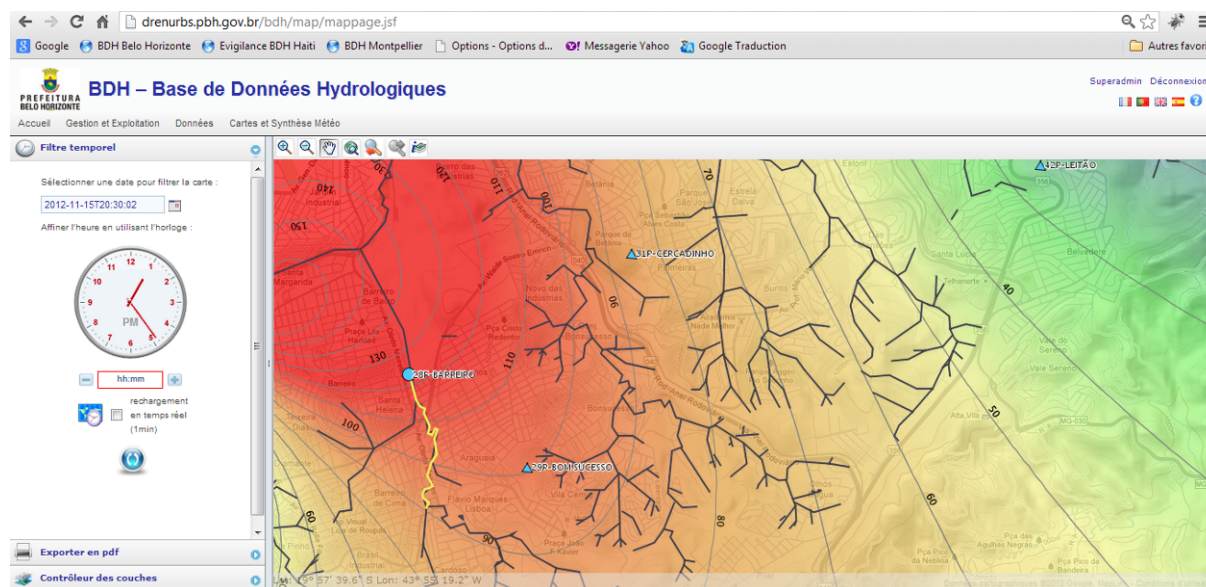


Architecture du poste central Alerte de crues Belo Horizonte

Ce premier niveau d'équipements est réservé exclusivement aux équipes SUDECAP en charge de la maintenance et de la gestion de la pré alerte.

Mais la municipalité, au travers de sa « protection civile urbaine », assume la compétence de gestion de crise. Ce sont près de 30 utilisateurs qui souhaitent accéder simultanément à ces informations. Pour cela, une base de données hydrométriques « BDH » met à disposition, en temps réel comme en temps différé, les mesures via une interface cartographique Web visualisant :

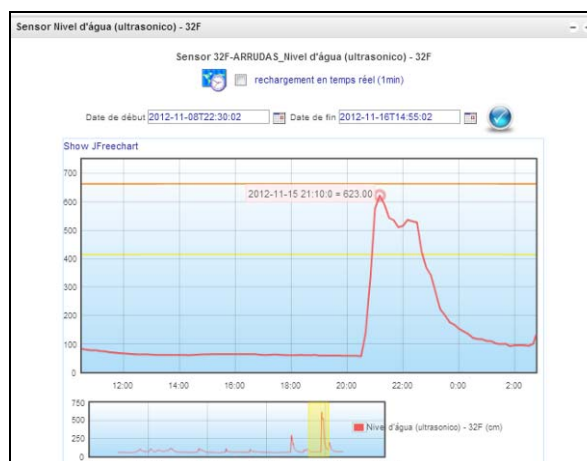
- Les intensités de pluies (isohyètes spatialisées),
- Les états des tronçons hydrographiques, avec modification de la symbolique sur changement d'état hydrologique (pré-alerte, alerte...), et des états météorologiques de chaque bassin versant en fonction des règles IDF (Intensité Durée Fréquence).



Interface carto. Web avec l'évènement du 15 novembre 2012 à 20h30. Précipitation de 30 mm en 10 minutes

L'opérateur peut, dans des fenêtres annexes, consulter les mesures actualisées ou non en temps réel. Ci-contre, pour le même évènement du 15 novembre 2012, la mesure de niveau dans Arrudas, avec un niveau de 0,56 m à 20h30, hauteur qui monte jusqu'à 5,76 m à 21h00 puis 6,23 m à 21h10.

Comme l'application intègre différents types de capteurs virtuels, elle peut notamment intégrer des courbes de tarage pour la création de capteur de débit. Le capteur de débit rattaché au capteur limnimétrique du site ARRUDAS, donne ainsi pour la même plage horaire du 15 novembre 2012, une variation du débit de 3 m³/s à plus de 900 m³/s en moins de 40 minutes.



D'autres fonctions sont mises à disposition des artisans de la gestion du risque inondation :

- La validation des données météorologiques au travers d'un atelier offrant des fonctions d'invalidation des données erronées, de reconstruction des données ou des chroniques de données par lissage, spline 1D, polynôme.
- Un éditeur de rapports pour la production de bilans temps réel ou à posteriori (bilan de crues...)
- Une gestion des alarmes hydrologiques dédiée uniquement à la métrologie ;
- Un éditeur de contextes hydrologiques, permettant de caractériser des périodes de crues, d'étiages sévères, de périodes de pluies ;

4 EVOLUTIONS DU DISPOSITIF D'ALERTE

La municipalité de Belo Horizonte a créé en 2001 un Groupe Exécutif des Zones de Risques (GEAR - Grupo Executivo de Áreas de Risco), avec pour objectifs de définir les actions et les interventions d'urgence à entreprendre pendant les périodes de pluies intenses et d'optimiser la mise en œuvre des ressources humaines et financières. Le GEAR réunit les organismes étatiques et municipaux qui opèrent dans la ville, comme les pompiers, les unités décentralisées de maintenance et les organismes responsables du transport, du drainage urbain, du traitement des eaux, des espaces verts, du réseau électrique et de la défense sociale. L'ensemble est coordonné par le Secrétariat Municipal de la Sécurité Publique et Patrimoniale. Le GEAR se réunit chaque semaine et, en fonction des prévisions climatiques, organise les actions préventives et correctives ainsi que les groupes d'astreinte. A l'origine, la mission principale du GEAR concernait le risque de glissement de terrain des versants occupés par les villas et les favelas. Au fil du temps, le Groupe est devenu un organisme central dans la gestion des événements pluvieux, ayant comme missions élargies la protection des vies humaines et du patrimoine par le biais d'actions dirigées vers les zones à risque, la santé publique et l'environnement.

Dans ce contexte, en milieu d'année 2011, deux initiatives importantes ont été entreprises pour améliorer la gestion du risque d'inondation : la création du CMAR (Centro de Monitoramento e Alerta de Risco - Centre de Surveillance et d'Alerte du Risque) et la formation des NACs (Núcleos de Alertas de Chuvas - Unités d'Alertes de Pluies). Le CMAR est composé d'équipes pluridisciplinaires basées au sein de la Défense Civile. Elles opèrent selon un régime d'astreintes 24/24h, accèdent en temps réel au Système de Surveillance Hydrologique, aux informations météorologiques et au Radar, et émettent les alertes à destination de tous les services de la Municipalité, de l'Etat (pompiers, police), de la presse, et également des habitants des zones à risque à travers les NACs et les NUDECs.

Les NACs ont été mis en place au premier semestre 2009. Ce sont des groupes communautaires formés par des représentants des habitants des zones à risque d'inondation qui reçoivent et transmettent les alertes au voisinage. Ces groupes sont supervisés, formés en continue et coordonnés par l'équipe sociale de la Municipalité de Belo Horizonte à pied d'œuvre 24/24h pendant les périodes de pluies. La fonction de l'équipe sociale est alors d'assurer l'articulation des actions des NACs avec les différents services municipaux et étatiques qui composent le GEAR afin de promouvoir la surveillance, la minimisation du risque, l'amélioration de la prise en charge des victimes et la diminution de la vulnérabilité des communautés situées en zone à risque.

Les NUDECs sont des groupes communautaires formés par des représentants des habitants des zones confrontées au risque géologique. Ils ont été constitués en milieu d'année 2001, en même temps que le GEAR. L'investissement et la pleine contribution des communautés d'habitants dans les processus locaux ont été systématiquement observés et salués par les coordinateurs du projet.

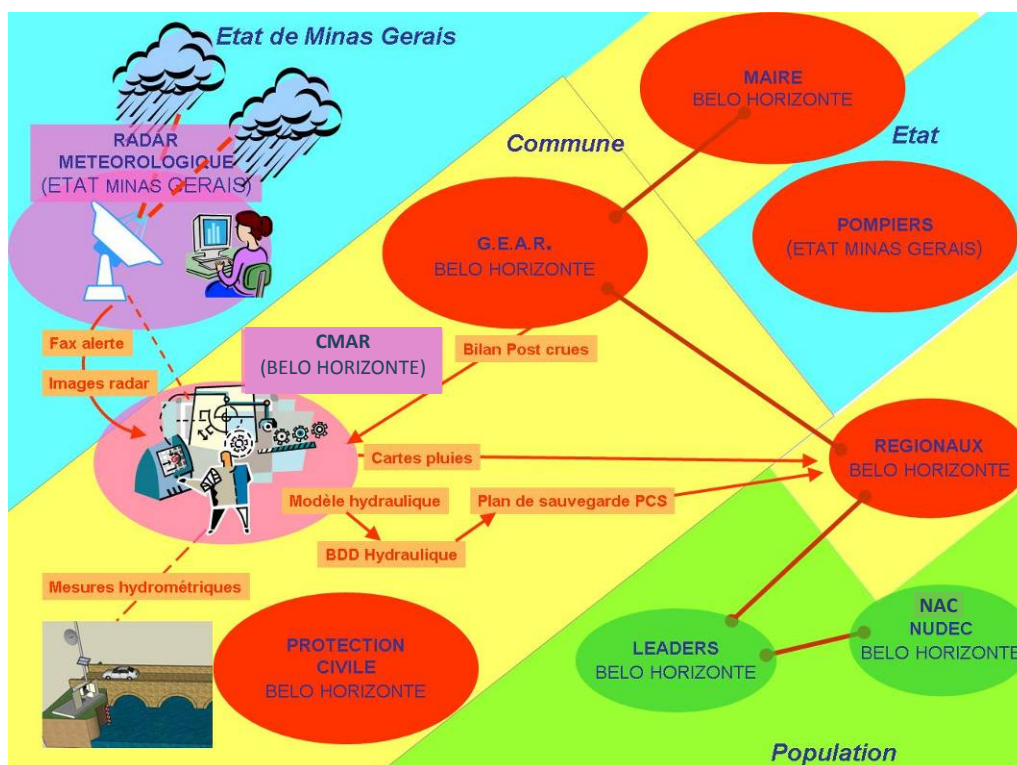
Le grand défi de la gestion du risque dans la commune est d'assurer la fiabilité des alertes. Etant donné que les modèles de prévision sont à l'échelle métropolitaine, il est nécessaire d'affiner ces prévisions à partir des données du radar météorologique à l'échelle des communes qui composent l'agglomération. Les bassins versants sont de faibles superficies, avec des vitesses d'écoulements importantes et des temps de concentration courts, ce qui réduit l'efficacité des alertes émises sur la base des mesures de niveaux d'eau. Bien que les dernières avancées aient été significatives, il reste encore beaucoup à construire.

Quant aux alertes visant à prévenir le risque géotechnique, l'organisation mise en place a déjà été éprouvée et, avec l'extension du réseau de surveillance hydrologique et l'automatisation du système, les gains ont été indéniables.

Courant 2012, l'état de Minas Gerais s'est équipé d'un radar météorologique pour améliorer l'anticipation des pluies extrêmes. L'intégration de ces images radar en temps réel devrait être facilitée par la disponibilité dans l'application BDH, des services WMS (spécifications standard de l'Open Geospatial Consortium) pour l'interfaçage avec des serveurs de données géoréférencées.

A court terme, devrait donc être mise en œuvre dans le cadre du CMAR, une organisation préventive (type Plan Communal de Sauvegarde – approche spécifiquement française mais bien adaptée aux situations d'urgence) afin d'améliorer la connaissance de l'aléa, effectuer le recensement des enjeux, et définir un plan d'intervention graduée pour chaque zone à risque.

Ci après, le schéma d'organisation de la future organisation de l'alerte inondation.



5 PERSPECTIVES

Le Brésil a subi dans son développement, deux phénomènes qui méritent d'être signalés : une industrialisation rapide de l'après-guerre et l'urbanisation accélérée qui a suivi. Mais il a fallu attendre les années 1970, pour que le Brésil commence à se tourner vers les questions environnementales comme la lutte contre la pollution et l'assainissement (notamment avec le plan national de l'assainissement - Planasa).

Dès les années 1950, les villes brésiliennes se sont formées avec les contrastes typiques des grandes villes du tiers-monde. Une prolifération des villes sans infrastructure ni services urbains capables d'assurer la croissance harmonieuse résultant de l'arrivée de forts contingents de population migrante.

Entre les décennies 1950 et 1990, la part de la population brésilienne qui vivait dans les villes a augmenté de 36% à 75%. En 1991, neuf régions métropolitaines étaient peuplées chacune de plus de 1 million d'habitants. A l'heure actuelle, 26 régions métropolitaines brésiliennes rassemblent 413 "municipios" (municipalités) pour une population de 72,6 millions d'habitants en 2008.

Mais ces métropoles Brésiliennes bâties avec une grande concentration industrielle, se heurtent à des problèmes de dégradation environnementale, telles que les inondations, la "favelisation" et les extensions urbaines non-maîtrisées. Pour une grande majorité des villes Brésiliennes, des travaux de drainage des eaux pluviales et de rectification des cours d'eau, ont été effectués dès le milieu des années 1950. Mais avec l'avancée de la frontière urbaine et l'impossibilité d'augmenter sans cesse la vitesse d'évacuation des eaux collectées (14 m/s rencontré sur Arrudas à Belo Horizonte), ce type de solution a montré ses limites. D'autres projets d'alerte de crues devraient donc rapidement voir jour sur les principales agglomérations Brésiliennes.

Durant le premier semestre de l'année 2009, des pluies diluviennes se sont abattues dans la région Nord et Nord-Est du Brésil, pendant que la pire sécheresse de ces 80 dernières années frappait le Sud du pays, alors que ces mêmes régions du Sud avaient elles mêmes été inondées en fin de l'année 2008, ce qui avait laissé dire au président brésilien de l'époque, Luiz Inacio Lula da Silva, que ces événements étaient « des signes évidents de réchauffement climatique ».

Début Janvier 2011, des pluies diluviennes se sont abattues sur la région montagneuse de Rio de Janeiro, faisant 799 morts, 430 disparus et près de 14.000 personnes sans abri. Lors de sa visite dans les zones sinistrées, la nouvelle présidente Dilma Rousseff dénonçait une urbanisation anarchique

dans des zones à risques qui affectait les populations les plus pauvres, et mentionnait que le Brésil comptait environ 300 zones susceptibles d'inondations et 500 zones à risque de glissement de terrain qui concernaient 5 millions de personnes.

Pour pallier à cette situation, la présidente Dilma Rousseff souhaite que le pays se dote d'un système d'alerte aux intempéries, dispositif qui selon INPE (Institut Recherche Spatiale du Brésil) nécessitera davantage de satellites, de radars météorologiques et de réseaux pluviométriques, pour un dispositif qui ne devrait être opérationnel qu'à l'horizon 2015-2016.

De futures collaborations Franco- Brésiliennes, recherche comme ingénierie, les spécificités aux crues éclair étant encore mal maîtrisées par les ingénieurs et constituent un axe de recherche pour les ingénieurs hydrologues et météorologues confrontés aux épisodes cévenols dans le Sud de la France.